绿色低碳背景下道路与桥梁工程施工技术研究

胡凯文
新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]随着“双碳”战略目标的不断推进，道路与桥梁工程作为交通基础设施的重要部分，在施工过程中出现的高能耗、高排放问题也越来越引起人们的重视。文中对道路与桥梁工程的施工特点进行了梳理，分析了目前施工中出现的材料资源消耗大、能源消耗和碳排放高、扬尘噪声污染严重、建筑废弃物资源化利用率低等主要问题，从绿色低碳施工材料的应用、路基路面节能施工、桥梁结构绿色施工、施工机械节能与能源优化、建筑废弃物资源化利用五个方面，提出绿色低碳施工技术体系，为道路与桥梁工程的绿色转型提供一定的参考。

[关键词]绿色低碳；道路与桥梁工程；施工技术；碳排放；资源化利用
DOI：10.33142/sca.v9i10.20632 中图分类号：U445.4 文献标识码：A

Research on Construction Technology of Road and Bridge Engineering under the Background of Green and Low Carbon

HU Kaiwen
Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the continuous promotion of the "dual carbon" strategic goals, road and bridge engineering, as an important part of transportation infrastructure, has increasingly attracted people's attention to the high energy consumption and high emissions problems that occur during the construction process. The article summarizes the construction characteristics of road and bridge engineering, analyzes the main problems that currently occur in construction, such as high material resource consumption, high energy consumption and carbon emissions, serious dust and noise pollution, and low utilization rate of building waste resources. From the application of green and low-carbon construction materials, energy-saving construction of roadbed and pavement, green construction of bridge structures, energy-saving and energy optimization of construction machinery, and resource utilization of building waste, a green and low-carbon construction technology system is proposed, providing certain reference for the green transformation of road and bridge engineering.

Keywords: green and low-carbon; road and bridge engineering; construction technology; carbon emissions; resource utilization

引言

道路与桥梁工程属于交通基础设施建设的主要部分，施工过程中会消耗大量的材料、机械作业以及能源，对生态环境造成的影响不能小视。近些年来，我国明确提出了2030 年碳达峰、2060 年碳中和的战略目标，促使基础设施建设朝着低碳化方向转变已经成为行业共识。在传统的施工模式下，材料浪费严重、扬尘污染大、噪声投诉多等问题一直存在，不但会干扰到工程周围的居民正常的生活，还会给区域的生态环境带来较大的压力。同时绿色施工材料、节能降耗技术、污染控制和资源循环利用策略不断更新，给道路与桥梁工程的绿色转型提供技术支持。本文以绿色低碳为背景，对道路、桥梁工程施工技术进行研究，从施工特点和问题入手，提出绿色低碳施工技术的应用途径。

1 道路与桥梁工程施工特点

道路和桥梁工程具有施工周期长、工程量大、施工环境复杂、专业交叉多等特点，这些特点决定了它在绿色低碳转型中遇到的特殊困难。道路工程一般呈线状分布，穿过各种地质和水文条件，土方开挖、路基填筑、路面摊铺等工序要依靠大量的工程机械连续作业，能源消耗主要发生在施工阶段。桥梁工程的施工难度比一般工程要大，基础施工、墩台浇筑、梁体架设等环节对材料性能和施工精度的要求比较高，特别是大型桥梁的基础工程中包含深水作业、大体积混凝土浇筑等复杂的工艺，施工过程中的资

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

源投入大、碳排放强度高。道路和桥梁工程大多处在开放环境中，施工活动给周边交通、居民生活和自然生态带来的影响比较直接，扬尘、噪声、废水等污染物的产生无法完全避免。从全生命周期角度来讲，道路基础设施施工所造成的碳排放占道路运输碳排放总量的 10%～20%，虽然比例不大，但是绝对量大，减排潜力不可小视。

2 道路与桥梁工程施工中的主要问题

2.1 施工材料资源消耗较大

道路与桥梁工程对天然砂石、水泥、钢材、沥青等基础材料的需求量非常大，材料成本占工程总造价的比重较大。传统的施工方式中，路基填筑、路面基层施工大多依靠天然碎石、砂砾，水泥混凝土的生产要消耗大量的石灰石、黏土资源，沥青路面的建设需要优质的石油沥青、集料。随着我国交通基础设施建设规模不断扩大，天然砂石骨料需求量不断增大，部分地区的砂石资源供应紧张，砂石价格不断上涨，资源约束越来越明显[1]。同时传统材料从开采、加工到运输的全过程都会造成大量的能源消耗和环境影响，而水泥生产过程中碳排放量尤其大，每生产一吨水泥就会产生 0.8～1t 二氧化碳。材料生产阶段碳排放量占总碳排放量的 98.1%，钢材、水泥生产分别占材料生产总碳排放量的 60.58%、37.52%，材料消耗量大直接造成工程碳排放总量增加。

2.2 施工能源消耗与碳排放较高

道路及桥梁工程施工阶段的能源消耗主要是柴油和电力，包括挖掘机、压路机、摊铺机、拌和站、起重设备等众多机械设备的运行能耗，能源消耗结构比较繁杂。材料生产、现场施工阶段的碳排放分别占 95.2%和 4.8%，柴油、电力消耗在施工现场二氧化碳排放中所占比例达到 90%。从施工工序上看，路基施工中土方开挖和压实、路面施工中混合料拌和和摊铺、桥梁施工中混凝土浇筑和构件吊装等都是能耗较高的工序，这些工序的机械作业时间长、负荷大，碳排放强度远大于其他施工环节。沥青路面施工过程中，混合料生产环节中集料加热能耗、碳排放占总能耗、碳排放的比重大，分别为 58.6%、52%，可对该环节设备进行优化以降低碳排放。施工机械老化、调度不合理、操作不规范等都会加大能源浪费和碳排放。

2.3 施工扬尘、噪声等环境污染较明显

道路和桥梁施工过程中产生的环境污染问题包含扬尘、噪声、废水、固体废弃物等各个方面，其中扬尘和噪声对周围环境的影响最直接。扬尘主要是由土方开挖、材料运输、碎石加工、路面铣刨等环节产生的，细颗粒物在风力的作用下扩散范围广，对施工区域以及周边空气质量产生不良影响。噪声污染主要是机械设备运转、爆破作业、打桩施工等造成的，在居民区附近的施工项目中，噪声投诉属于环境纠纷的常见原因。扬尘控制要从施工的各个环节入手，特别是土方运输、材料使用、垃圾处理和设备管理等方面应做好封闭处理，保证运输车辆干净整洁，在场区进出口处设置洗车槽。噪声控制要严格按照施工噪声排放标准执行，尽量减少施工设备机械振动，采用噪声和振动测量方法对施工现场进行检测和监督管理。桥梁基础施工中泥浆排放、混凝土养护废水、施工机械油污泄漏等都会给水环境造成潜在的威胁。施工单位应当把扬尘、噪声等污染控制纳入绿色施工管理体系，从源头上减少污染物的产生量，并且要建立常态化的监测机制，保证施工活动不会对周边环境造成不可接受的影响。

2.4 建筑废弃物资源化利用不足

道路与桥梁工程在建设过程中会产出大量的建筑废弃物，如旧路面铣刨料、拆除下来的混凝土结构、废弃的模板以及钢材边角料等等。目前大部分废弃物都是以填埋、露天堆放为主，资源化利用率较低。将建筑废弃物加工成再生骨料用于市政道路路基填筑，是建筑垃圾资源化利用、缓解砂石资源短缺的可行方式。但是由于缺少对再生骨料特性专门的施工工艺标准，在实际工程中应用比较随意，施工工艺随意、质量参差不齐、工程安全性和耐久性存在隐患，严重阻碍了再生骨料在道路工程领域的大规模应用[2]。另外施工单位对于建筑废弃物资源化利用的经济效益认识不足，再生产品的市场认可度有待提高，相关政策激励和技术推广体系还不完善。

表 1 道路与桥梁施工阶段主要能耗与碳排放构成

施工阶段	主要工序	主要机械	能源类型	碳排放特征
路基施工	土方开挖、压实	挖掘机、压路机	柴油	机械台班能耗高，碳排放集中
路面施工	拌和、摊铺	拌和站、摊铺机	电力/柴油	集料加热能耗占比 58.6%，碳排放占比 52%
桥梁施工	浇筑、吊装	泵车、吊机	电力/柴油	电力消耗占比高，间接排放显著

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3 绿色低碳道路与桥梁工程施工技术

3.1 绿色低碳施工材料应用技术

绿色低碳施工材料的应用属于道路和桥梁工程碳排放的源头性措施，主要思想就是用工业固废、建筑固废代替传统的高碳排放材料。在胶凝材料方面，用冶炼渣、粉煤灰等工业固废和建筑固废做原料，电石渣、工业废碱等做激发剂进行科学配比设计，可以研发出新型固废基绿色凝胶材料，生产过程不需要高温煅烧，每生产一吨可以比传统水泥减少 0.57t 二氧化碳排放，降碳率可达 92%，成本可以降低 1/4 以上。骨料方面，经由除杂、破碎、筛分等工序处理过的再生骨料，可以部分或者全部代替天然砂石使用于路基填筑、路面基层施工，再生骨料替代传统石料可减少 30%以上的矿山开采量。橡胶沥青、温拌沥青等低碳沥青技术的推广使用，使沥青混合料生产温度降低，有害气体排放减少。绿色建材在道路和桥梁工程中的使用，可以减少项目的全生命周期碳排放，还可以削减资源浪费，改善施工环境质量，促使道路和桥梁工程从材料源头开始走向绿色。

3.2 路基路面节能施工技术

路基路面施工是道路工程中能耗和碳排放最集中的环节，节能施工技术的关键就是降低混合料生产温度、减少新材料用量。温拌沥青技术利用温拌剂或者泡沫沥青工艺，使沥青混合料的拌和、摊铺温度比传统的热拌工艺低很多，而且能减少沥青烟等有害气体的排放，改善施工现场的作业环境。采用温拌和再生协同施工工艺，在保证路用性能满足规范要求的基础上，可使拌合温度降低 20～30℃，施工阶段能耗降低 20%～25%，碳排放强度降低 30%以上。泡沫沥青冷再生技术可以将原沥青路面、基层材料再生利用，相比传统的热拌技术，该技术能耗低、排放少，旧料不被废弃，天然集料不用开采，具有资源节约和减排的双重效益[3]。软土地区路基施工采用原位固化技术，用干法、湿法、原位固化相结合的方式把现场软土直接变成合格的路基材料，固化成本降低到 40 元/m^3，比传统固化技术节省 20%～40%，减少借土和弃土运输造成的能耗和排放。将上述技术综合起来使用，可以大幅度削减路基路面施工过程中的能源耗费以及碳排放水平，促使道路工程朝着更加绿色低碳的方向不断发展。

3.3 桥梁结构绿色施工技术

桥梁工程绿色施工技术主要推进工业化建造、优化结构体系。预制梁板、盖梁、墩台等构件宜采用工业化生产的办法，依靠液压不锈钢模板整体拆合模、智能温控蒸养系统、自动配料和智能排产及存梁系统等技术实现梁场的智能化管理，缩减现场作业量，削减材料浪费。现代桥梁建设向着更加低碳化、装配化的方向发展是大势所趋，利用钢管混凝土桥墩、预应力钢箱混凝土盖梁、H 型钢混凝土主梁、波折型钢混凝土桥面板的协同使用，可以节约混凝土用量 56.7%，实现 80%的装配化施工。超高韧性混凝土轻型组合桥面技术具有明显的绿色优势，在材料用量、能源消耗、废弃物排放、二氧化碳排放、水资源利用等方面比传统的环氧沥青混凝土桥面技术分别减少 33.3%、50.2%、75.7%、60.8%、50.1%，维护成本降低 27.6%，施工周期缩短 50.6%。钢结构桥梁要推广高强螺栓连接、金属涂层防腐处理、大跨度结构机械化安装等，减少现场焊接作业和涂装污染。

3.4 施工机械节能与能源优化技术

施工机械的节能减排属于减少道路和桥梁工程施工碳排放的有效手段。传统的燃油机械能耗和排放水平受设备老化的程度、操作是否规范以及调度是否合理等因素的影响比较大，但是通过建立智能化控制以及能源管理系统之后，可以大幅度提高设备运行效率，并且减少能耗。电动工程机械的推广使用正在改变施工能源结构，电动旋挖钻机比同效能燃油旋挖钻机节能 40%。电网清洁化率每年提高 2.8%，电动机械全生命周期排放因子比柴油机组降低 42.6%±3.2%，当电动化率达到 78%的时候，运输环节碳减排弹性系数为 1.32。工程机械物联网管理系统应用之后，可以对设备油耗数据实施精确及时的分析，经由单机核算以及油耗数据分析，对高油耗设备展开技术改良或者改变使用方法，从而有效地削减设备的使用成本[4]。另外，利用变频控制等节能技术对施工机械进行运行效率的调节，防止施工机械长时间处于过载或者欠载的状态，这也是施工机械节能的一个方面。施工机械的电动化转型以及智能化管理正在产生协同减排的效果，给道路、桥梁工程的能源结构改善提供了行之有效的技术途径。

3.5 建筑废弃物资源化利用技术

建筑废弃物的资源化利用属于道路和桥梁工程循环经济的重要环节。道路拆除废弃物经过加工后得到的再生骨料，可以被大量地用于路基填筑、路面基层及垫层等结构层。建筑废弃物道路工程应用技术规程包含原材料再生加工、运输和储存、再生集料混凝土、再生集料水泥砂浆、再生集料注浆材料、路面基层与垫层、路基填筑等环节，给再生骨料在道路工程中规范化应用提供系统的技术依据。再生集料固化土在道路工程中应用研究表明，以建筑废弃物加工而成的再生骨料为基本材料，掺配设计、摊铺压实形成的路基结构层，其路用性能可以满足工程要求。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

旧沥青路面铣刨料的再生利用技术也取得很大进展，厂拌热再生沥青混合料通过加入温拌剂，不但可以降低生产温度，还可以解决沥青二次老化的问题，达到双重节能减排的效果。推进建筑废弃物资源化利用的规模化发展，关键是健全技术标准体系、创建质量控制体系，依靠政策引导提升施工单位对再生产品的接纳程度，塑造起从废弃物产生、加工到再生产品应用的全部循环链条。

4 结语

在绿色低碳背景下，道路与桥梁工程施工技术转型是系统工程，牵涉到材料、工艺、装备、管理等诸多方面。本文根据施工特点和问题，对绿色低碳施工材料的应用、路基路面节能施工、桥梁结构绿色施工、施工机械节能与能源优化、建筑废弃物资源化利用五个方面技术路径进行梳理。绿色建材的推广使用从源头上减少资源消耗和碳排放，温拌沥青、冷再生技术大幅度削减路面施工能耗，桥梁工业化建造、轻型组合桥面技术改善结构施工的绿色程度，电动机械、智能管理系统改良施工能源结构，建筑废弃物资源化利用推进循环经济模式创建。未来随着碳减排评价体系的完善以及智能化技术的深入融合，道路和桥梁工程的绿色低碳施工技术会向着更系统化、精细化的方向发展，给交通基础设施的可持续发展提供强有力的支撑。

[参考文献]

[1]刘兴菊.绿色低碳技术在道路与桥梁工程中的创新应用[J].中国公路,2026(9):116-117.

[2]白静飞.绿色施工技术在道路桥梁施工中的应用[J].交通世界,2017(22):166-167.

[3]张咏.道路与桥梁工程中的生态保护与可持续发展策略研究[J].汽车周刊,2026(8):235-237.

[4]王德信.道路桥梁工程绿色施工技术应用研究[J].中国房地产业,2026(15):58-61.

作者简介：胡凯文（1994—），毕业于四川大学工程造价管理专业，现就职于新疆北新路桥集团股份有限公司，中级工程师。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.